

# СТРУКТУРА, МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ПРИМЕНЕНИЕ ЛИТЕЙНЫХ КРЕМНИЙ – НИКЕЛЕВЫХ БРОНЗ

*Слюдова А.А., Лисовский В.А.*

*Руководитель - к.т.н, Лисовский В.А.*

Вятский государственный университет, г. Киров,  
vitallis@rambler.ru

Кремнистые бронзы, благодаря своей невысокой стоимости и технологичности, находят все большее применение в электротехнике, энергетическом и металлургическом машиностроении и других видах современной техники. Эти сплавы имеют высокие механические, коррозионностойкие, антифрикционные свойства, отлично свариваются и паяются.

На сегодняшний день в промышленности применяют две стандартные марки кремнистой бронзы БрКМцЗ – 1, БрКН 1 – 3 по ГОСТ 18175 – 78 и, в меньшей степени, нестандартные сплавы. В качестве литейного применяется нестандартный сплав БрКМцСЗ – 1 – 4 [1]. Коэффициент трения этой бронзы по стали составляет 0,01013, износ бронзового и стального образцов в 2 раза меньше, чем у аналогичных образцов оловянной бронзы БрОЦС 4 – 4 – 4 и стали. В качестве антифрикционных также могут применяться сплавы, содержащие до 4% Si, содержащие 1,5 – 2% Fe и до 1% Mn [2].

Промышленная деформируемая кремний – никелевая бронза БрКН1 – 3 относится к термоупрочняемым сплавам. В тройной системе Cu – Ni – Si в равновесии с  $\alpha$ -твердым раствором находится несколько высокопрочных силицидов никеля  $Ni_3Si$ ,  $Ni_5Si_2$ ,  $Ni_2Si$ ,  $NiSi$ , растворимость которых в меди резко изменяется с понижением температуры. Среди них наиболее тугоплавким является конгруэнтно плавящийся силицид никеля  $Ni_2Si$ , имеющий орторомбическую решетку типа  $Co_2Si$ . Растворимость фазы  $Ni_2Si$  в меди резко снижается при понижении температуры. Это определяет возможность термического упрочнения, и после закалки от 860°C и последующего старения при 500°C в течение 1 часа прочность сплава возрастает с 300 до 740 МПа при снижении пластичности с 35 до 8% [2].

По мере увеличения содержания никеля снижается растворимость кремния в меди, и при 200°C она достигает 0,2 %. С возникновением гетерогенной структуры резко снижается способность сплавов к пластической деформации и, в связи с этим, для деформируемых сплавов в состав сплава вводят не более 3 % Ni. По аналогичным причинам предельный состав кремния в этих сплавах не более 1 %.

Согласно диаграмме состояния системы Cu – Si [3], растворимость кремния в меди в твердом состоянии изменяется пределах от 5,3% при температуре 842°C до 3,9 % при 356 °C. При 20°C растворимость кремния не более 3,5 %, и при повышении содержания кремния в сплаве появляются новые фазы, снижающие пластичность сплава в холодном состоянии, однако литейные свойства сплава с увеличением содержания кремния улучшаются.

В качестве объекта исследования была выбрана нестандартная кремний – никелевая бронза БрКЗНЗ. Целью работы стояло установление зависимости свойств указанного сплава от структуры, формируемой литьем и термической обработкой.

Исследования проводили на опытных образцах, вырезанных из кокильных отливок диаметром 100 мм и длиной 200 мм. Плавки получали в графитовом тигле на чистых шихтовых материалах в индукционной печи под слоем древесного угля. Перед разливкой сплавы раскислялись фосфористой медью в составе 0,01 % от массы шихты. Дегазацию сплавов производили аргоном через графитовую трубку. Химический состав сплавов определяли на атомно-абсорбционном спектрофотометре «Аналюст-300» фирмы Перкин – Эльмер. Металлографические исследования выполняли на оптическом микроскопе Neophot 2. Тонкую структуру исследовали с помощью электронного микроскопа JEM-210 и сканирующего электронного микроскопа JSM-6510 LV. Методом рентгеноструктурного анализа определяли вид и параметры решетки образующихся фаз. Исследования проводили на рентгеновском дифрактометре SHIMADZU LabX XRD-6000. Определение механических свойств проводили по стандартным методикам. Производили испытания на растяжение и измеряли твердость.

Для изучения равновесной структуры проводился гомогенизирующий отжиг. В равновесном состоянии сплав имеет гетерогенную структуру, которая складывается из первичных  $\alpha$  – кристаллов и эвтектоида.

В литом состоянии в условиях неравновесной кристаллизации сплав имел ярко выраженное дендритное строение (рисунок 1). Оси и ветви дендритов представляют собой  $\alpha$  -твердый раствор легирующих элементов в меди. Междендритное пространство заполнено мелкодисперсным эвтектоидом, содержащим дисперсные частицы  $\gamma$  - фазы и силициды никеля. В литом состоянии сплав обладает следующими механическими свойствами: временное сопротивление  $\sigma_B$  350 – 400 МПа, относительное удлинение  $\epsilon$  не менее 7% и твердость 80..100 HV.

Проведенная закалка литых образцов кремний – никелевой бронзы от различных температур зафиксировала структуру, состоящую из зерен пересыщенного  $\alpha$  - твердого раствора. В процессе старения сплава при температурах в диапазоне от до 450 до 650 °C в течение 2 часов

происходило выделение частиц  $\text{Ni}_2\text{Si}$  и образование  $\gamma'$ -фазы, представляющей собой интерметаллид  $\text{Cu}_5\text{Si}$ .

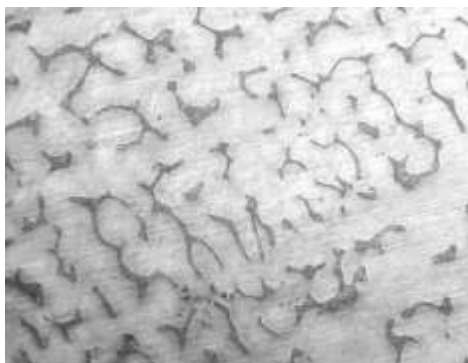


Рисунок 1 – Микроструктура бронзы БрКЗНЗ в литом состоянии,  $\times 200$

Результаты исследования зависимости твердости от температуры закалки и последующего старения (рисунке 2) позволяют заключить, что максимальный эффект от термической обработки можно получить при закалке от  $800\text{ }^{\circ}\text{C}$  и последующем старении при  $550\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

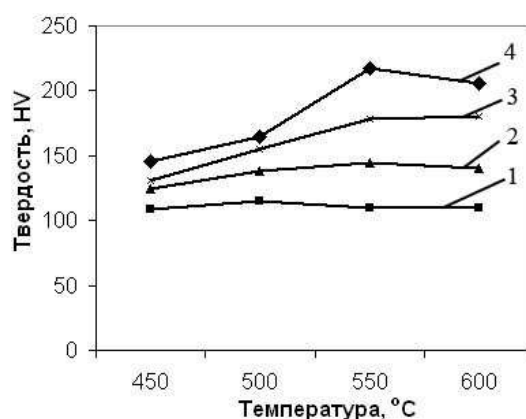


Рисунок 2 – Зависимость твердости от температуры старения образцов закаленных от  $650\text{ }^{\circ}\text{C}$  (1),  $700\text{ }^{\circ}\text{C}$  (2),  $750\text{ }^{\circ}\text{C}$  (3),  $800\text{ }^{\circ}\text{C}$  (4).

В заключении необходимо отметить, что кремний – никелевые бронзы, имея высокие физико-механические свойства, обладают большим потенциалом и могут найти более широкое применение во многих видах современной техники в качестве литейного материала.

Список использованных источников.

1. Чурсин В.М. Современные низколегированные сплавы на основе меди //Технология металлов №5, 2004 С.18-22.
2. Осинцев О.Е., Федоров В.Н. Медь и медные сплавы. Отечественные и зарубежные марки: Справочник. М.: Машиностроение, 2004.336с., ил.
3. Диаграммы состояния двойных металлических систем [Текст]: справочник. В 3 т. Т.2 / под общ. ред. Н.П. Лякишева. - М.: Машиностроение, 1977. - 1024с.